

**(1) Japanese Patent Application Laid-Open No. 2002-189000 "Semiconductor Device, Evaluation and Analysis Method of a Semiconductor Device, and Processing Unit of a Semiconductor Device"**

The following is English translation of an extract from the above-identified document relevant to the present application.

While a grinding tool 3 having a groove 3a configured into a semicircular shape in cross section is pressed against a reverse surface of semiconductor substrate 1b and rotated with a normal that runs through the centre of a trench 3 as an axis, a semiconductor substrate is grinded by abrasive such as diamond slurry and diamond paste.

As a result, a convex semiconductor hemisphere 1c is formed along a semicircular trench 3a, having a rotation axis in the centre (see Fig 3 (a)).

Depending on whether a semiconductor hemisphere 1c is a semispherical solid immersion lens as shown in Fig 1 or a super semispherical solid immersion lens as shown in Fig. 2, the size and shape of a trench 3a of grinding tool 3 is selected and the depth for grinding is adjusted.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-189000  
(P2002-189000A)

(43) 公開日 平成14年7月5日 (2002.7.5)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	キーワード(参考)
G 0 1 N 21/956		G 0 1 N 21/956	A 2 G 0 5 1
H 0 1 L 21/66		H 0 1 L 21/66	C 4 M 1 0 6
			N

審査請求 有 請求項の数22 O L (全 11 頁)

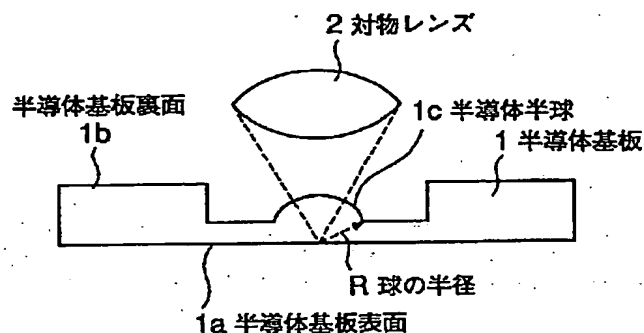
(21) 出願番号	特願2001-116647(P2001-116647)	(71) 出願人	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(22) 出願日	平成13年4月16日 (2001.4.16)	(72) 発明者	北畑 秀樹 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2000-308890(P2000-308890)	(74) 代理人	100071272 弁理士 後藤 洋介 (外1名)
(32) 優先日	平成12年10月10日 (2000.10.10)	Fターム(参考)	2G051 AA51 AB07 AC02 BA06 BA10 BB03 BB09 CA04 CB05 DA07 4M106 AA01 BA08 CA38 DH13 DH31 DH38
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

(54) 【発明の名称】 半導体装置、半導体装置の評価解析方法及び半導体装置の加工装置

(57) 【要約】

【課題】 裏面解析における分解能を安定的に向上させると共に、微細化の進む半導体装置の解析及び評価を確実かつ容易にする。

【解決手段】 半導体基板表面1aに集積回路が形成された半導体装置に対し、半導体基板裏面1bの所望箇所を加工して半導体半球1cを形成する。この半導体半球1cを固体浸レンズとして高分解能の裏面解析を行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板の表面に集積回路が形成された半導体装置において、

前記半導体基板の裏面の一部に、半球状の凸部を半導体基板と一体的に形成したことを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 前記半球状の凸部は、前記半球の一部分を構成していることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【請求項3】 前記半球状の凸部は、前記集積回路の裏面解析を行うための半導体固体浸レンズとして作用することを特徴とする請求項1又は2のいずれか一つに記載の半導体装置。

【請求項4】 前記半導体基板と前記半導体固体浸レンズとは一体化されていることを特徴とする請求項3に記載の半導体装置。

【請求項5】 前記半球の中心位置が前記半導体基板表面にほぼ一致していることを特徴とする請求項1又は2のいずれか一つに記載の半導体装置。

【請求項6】 前記半導体基板の屈折率を $n$ とし、かつ前記半球の半径を $R$ としたとき、半球の中心位置が半導体基板表面から、 $R/n$ の深さにほぼ一致していることを特徴とする請求項1又は2のいずれか一つに記載の半導体装置。

【請求項7】 前記半球状の凸部は、超半球型の固体浸レンズとして作用することを特徴とする請求項6に記載の半導体装置。

【請求項8】 半導体基板の表面に形成された集積回路を半導体基板の裏面から解析する半導体装置の評価解析方法において、半導体基板裏面の所定個所を凸状の半球面又は凸状半球面の一部を成すように加工し、この半球面を固体浸レンズとして利用することにより、半導体裏面から光学的手法により、上記集積回路の評価解析を行うようにしたことを特徴とする半導体装置の評価解析方法。

【請求項9】 前記所定個所は、前記集積回路内の座標データに基づいて指定されることを特徴とする請求項8に記載の半導体装置の評価解析方法。

【請求項10】 前記所定個所は、前記半導体基板の表面又は裏面へのレーザーマーキングで指定されることを特徴とする請求項8に記載の半導体装置の評価解析方法。

【請求項11】 前記半導体基板裏面の所定個所の加工後、半導体基板を透過可能な光を利用した顕微鏡により、半導体基板を通して前記半球の中心近傍の半導体基板表面を観察することを特徴とする請求項8に記載の半導体装置の評価解析方法。

【請求項12】 前記半導体基板裏面の所定個所の加工後に、前記集積回路に対して電気的入力を印加し、前記半球の中心近傍の半導体基板表面で発生する発光を半導

体基板を通して検出することを特徴とする請求項8に記載の半導体装置の評価解析方法。

【請求項13】 前記半導体基板裏面の所定個所の加工後に、前記集積回路に対して電気的入力を印加し、前記半導体基板を通して前記半球の中心近傍の半導体基板表面に対し、半導体基板を透過可能なレーザー光を照射して電気的特性の変化を検出することを特徴とする請求項8に記載の半導体装置の評価解析方法。

【請求項14】 半導体基板を研削することにより半導体装置を加工する半導体装置の加工装置において、断面が半円又は半円の一部の形状を成す溝が形成された研削ツールを回転させることにより上記半導体基板を研削して半導体基板裏面の所定個所に凸状の半球又は凸状半球の一部を形成する研削装置と、顕微鏡により半導体基板表面を観察した上で、半導体基板裏面の所定個所を上記研削ツールの回転軸上にアライメントするアライメント機構とを有することを特徴とする半導体装置の加工装置。

【請求項15】 前記顕微鏡が赤外線顕微鏡で、半導体基板裏面から半導体基板を通して半導体基板表面を観察することを特徴とする請求項14に記載の半導体装置の加工装置。

【請求項16】 前記アライメント機構は、半導体基板表面に予め形成されているパターンを基準として、所定個所を前記顕微鏡の視野中心に移動させることを特徴とする請求項14に記載の半導体装置の加工装置。

【請求項17】 前記顕微鏡が可視光顕微鏡の場合、半導体基板に対して、前記研削装置と反対側に前記顕微鏡を配置し、その視野中心を予め研削装置の回転軸に合わせておくことを特徴とする請求項14に記載の半導体装置の加工装置。

【請求項18】 前記顕微鏡が半導体基板を透過する赤外光を利用した赤外線顕微鏡の場合、半導体基板裏面から、前記半導体基板表面に形成されているパターンを観察して、所定個所を顕微鏡の視野中心に移動させることを特徴とする請求項14に記載の半導体装置の加工装置。

【請求項19】 断面が半円又は半円の一部の形状を成す溝が形成された研削ツールを回転させることにより、半導体装置を構成する半導体基板を研削して半導体基板裏面の所定個所に凸状の半球又は凸状半球の一部を形成する半導体装置の加工方法において、前記半導体基板の裏面に、前記研削ツールを前記所定個所に誘導するためのガイドを形成しておくことを特徴とする半導体装置の加工方法。

【請求項20】 前記ガイドが、フォトリソグラフィにより、前記半導体基板裏面を加工して形成した前記研削ツールの回転半径とほぼ同じ半径を有する円形の窪みであることを特徴とする請求項19に記載の半導体装置の加工方法。

【請求項21】 前記ガイドは、半導体基板裏面の上方、或いは半導体基板裏面に接触して固定された板に形成された前記研削ツールの回転半径とほぼ同じ半径を有する円形の窪み又は開口穴であることを特徴とする請求項19に記載の半導体装置の加工方法。

【請求項22】 半導体基板を研削することにより半導体装置を加工する半導体装置の加工装置において、断面が半円又は半円の一部の形状を成す溝が形成された研削ツールを回転させることにより上記半導体基板を研削して半導体基板裏面の所定個所に凸状の半球又は凸状半球の一部を形成する研削装置と、前記研削ツールを前記所定個所に誘導するガイドと、前記所定個所を前記ガイドの中央にアライメントするためのアライメント機構とを有することを特徴とする半導体装置の加工装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体装置とその評価解析手法及び半導体装置の加工装置に関する。

【0002】特に、半導体装置を構成する半導体基板の裏面から、半導体基板表面に形成された半導体素子等を評価解析するために適した構造を有する半導体装置とその評価解析手法、及びその構造を実現する為の加工装置に関する。

【0003】

【従来の技術】最近の半導体集積回路の大規模化に伴い、半導体装置の微細化及び多層配線化が進み、金属配線に覆われたチップ表面から故障箇所を特定することが困難になってきている。

【0004】このような集積回路の故障解析手法として、半導体に対して透過率の高い赤外光を利用したEMS (Emission Microscope) 法、OBIC (Optical Beam Induced Current) 法など、チップ裏面から不良箇所を検出手法（裏面解析手法）が行われている。

【0005】裏面解析に應用されている赤外光は波長が長いので、紫外線等の短い波長の光を利用して形成された微細なパターンの解析に対しては、分解能の面で不利と考えられる。

【0006】しかしながら、物質中の光の波長は、その物質の屈折率に反比例して短くなることが知られており、例えば、屈折率が3.5のシリコンを透過可能な、波長1.1 $\mu$ mの赤外光の場合、シリコン中では波長が0.3 $\mu$ mとなっているので、この波長を利用すれば、紫外線顕微鏡並の高分解能が得られることになる。

【0007】ところが、図11に示すように、従来の裏面解析手法では、半導体基板裏面1bを平坦に鏡面研磨して行っていたため、対物レンズ2を通して、半導体基板表面1aを観察する際、半導体基板裏面1bでの屈折により、大気中より深い位置に焦点が結ばれ、実効的な

開口数も屈折率に反比例して小さくなる。

【0008】そのため、光の短波長化効果が相殺されて、大気中以上の分解能を得ることはできない。大気中で1点に焦点を結ぶように、大気中での観察を前提として設計された通常の対物レンズを用いた場合、光路に半導体基板が挿入されることで収差が増大するため、分解能は、大気中での観察に比べ、むしろ低下することになる。

【0009】物質中での短波長化効果を利用した観察手法として、液浸レンズや固体浸レンズ（ソリッドイマージョンレンズ、又はSILとも呼ばれる）を利用する手法が知られている。

【0010】しかし、これらの手法は、利用する液や固体に観察対象を接触させる必要があり、このままでは、有限の厚さの半導体基板を介して基板表面を解析する裏面解析には応用出来ない。

【0011】また、特開平5-157701号公報には、半導体基板と同じ材質で作製された平凸レンズを半導体基板の裏面に密着させることにより、半導体基板自身を固体浸レンズの一部として利用する手法が記載されている。

【0012】図12に示すように、対物レンズ2の焦点を半導体基板表面1aに合わせた際、平凸レンズ21の効果により、焦点位置が大気中より深くならないようにすることが出来るので、実効的な開口数の低下が抑えられ、短波長化による高分解能化が期待出来る。

【0013】但し、この手法において、平凸レンズ21と半導体基板裏面1bとの間に隙間が発生すると、臨界角以上の入射光が全反射されて、臨界角以下の入射光しか伝搬出来なくなり、実効的な開口数が臨界角で制限されることになる。

【0014】平凸レンズ21と半導体基板裏面1bとの間の隙間が、半導体中の光の波長と同程度になると、光は近接場を介して伝搬することが可能になるが、高分解能に寄与する高入射角の光ほど隙間を透過し難い傾向があるため、このような不連続な界面が存在しない場合に比べて、分解能は低下することになる。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】この従来技術の第1の問題点は、裏面が平坦な半導体基板を介した通常の裏面解析では、半導体基板中での光の短波長化による高分解能効果が得られないことである。

【0016】その理由は、半導体基板裏面での屈折により、大気中の焦点位置より深い位置に焦点が結ばれるため、実効的な開口数も屈折率に反比例して小さくなり、光の短波長化効果が相殺されて、大気中以上の分解能を得ることが出来ないためである。

【0017】第2の問題点は、裏面が平坦な半導体基板を介した通常の裏面解析で、大気中と同等の分解能を得ようとした場合、半導体基板の厚さに応じて収差を補正

する特殊なレンズが必要となるため、対物レンズを表面解析と共用化することが困難になることである。

【0018】その理由は、大気中で1点に焦点を結ぶように、大気中での観察を前提として設計された通常の対物レンズを用いた場合、光路に半導体基板が挿入されることで収差が増大して、分解能が低下するためである。

【0019】第3の問題点は、半導体基板と同じ材質の平凸レンズを利用して、固体浸レンズを構成しても、固体浸レンズ本来の分解能が得難いことである。

【0020】その理由は、半導体基板と平凸レンズの界面に臨界角以上で入射する光は、半導体表面の近接場を介して伝搬するため、隙間が大きくなると、透過光強度が急激に低下して、臨界角以下の入射光しか伝搬できなくなり、実効的な開口数が制限されるためである。

【0021】大気中の波長 $\lambda$ の光が、屈折率 $n$ の半導体内部から界面に向かって、臨界角以上の入射角 $\theta$ で入射した際に、半導体表面から距離 $z$ の大気中に形成される近接場の電界振幅 $E$ は、以下の数1式で表される。

【0022】

【数1】

$$E \propto \exp\left[-\frac{2\pi z}{\lambda} \sqrt{n^2 \sin^2 \theta - 1}\right]$$

但し、 $\theta \geq \sin^{-1}\left(\frac{1}{n}\right)$  = 臨界角

【0023】近接場の電界振幅は、 $z$ の増加とともに急激に減少し、例えば、 $n=3.5$ のシリコン中から $\theta=60$ 度で大気側へ透過する、 $\lambda=1.1\mu\text{m}$ の赤外光の場合、 $z=140\text{nm}$ で電界振幅は約 $1/10$ になる。

【0024】即ち、半導体基板と平凸レンズとの隙間が、 $140\text{nm}$ 以上離れている場合、入射角 $60$ 度で隙間を伝搬する光の電界振幅は $1/10$ 以下に減衰する。この減衰の割合は、高分解能に寄与する高入射角の光、即ち $\theta$ の大きい光になるほど、大きくなるので、ある程度の透過光強度が確保できるように密着できたとしても、固体浸レンズ本来の性能を得ることは困難である。

【0025】また、Appl. Phys. Lett. 57, 2615 (1990)には、図13のような、観察試料23に密着させる面の周辺を円錐状にカットした固体浸レンズ22が記載されている。このような構造の固体浸レンズ22によれば、観察試料23に密着させる面積を小さくすることができるので、密着性の確保に有利と考えられる。

【0026】しかしながら、図12の平凸レンズ21の場合、このような形状を採用しても、半導体基板1との接触面積を十分小さくすることはできない。半導体装置の裏面解析においては、半導体基板表面に形成された集積回路を損なわないように、取り扱い時の強度も考慮して、半導体基板の厚さを十分確保する必要がある。

【0027】そのため、図12の平凸レンズ21の場合、球面半径 $R$ を半導体基板1の厚さに対して十分大き

くしない限り、図13のような形状にすることは不可能である。

【0028】即ち、有限の厚さの半導体基板を介して基板表面を解析する裏面解析においては、平凸レンズ21と半導体基板1との接触面積を小さくすることが困難なため、密着性を確保する上で不利と云える。

【0029】そこで、本発明は、上記従来技術の問題点に鑑みて成されたものであり、その目的とするところは、裏面解析における分解能を安定的に向上させ、微細化の進む半導体装置の解析評価を確実かつ容易にすることにある。

【0030】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明では、半導体基板表面に集積回路が形成された半導体装置において、前記半導体基板の裏面の一部に、半導体基板と一体的に半球状の凸部を形成した。

【0031】この場合、前記半球状の凸部は、前記半球の一部を構成しても良い。

【0032】ここで、前記半球状の凸部は、前記集積回路の裏面解析を行うための半導体固体浸レンズとして作用する。前記半導体基板と前記半導体固体浸レンズとは一体化されている。

【0033】このような構成の下、前記半球の中心位置は前記半導体基板表面にほぼ一致している。

【0034】あるいは、前記半導体基板の屈折率を $n$ とし、かつ前記半球の半径を $R$ としたとき、半球の中心位置が半導体基板表面から、 $R/n$ の深さにほぼ一致するようにしても良い。

【0035】この場合、前記半球状の凸部は、超半球型の固体浸レンズとして作用する。

【0036】また、本発明では、半導体基板表面に形成された集積回路を半導体基板の裏面から解析する半導体装置の評価解析方法において、半導体基板裏面の所定個所を凸状の半球面又は凸状の半球面の一部を成すように加工し、この半球面を固体浸レンズとして利用することにより、半導体基板裏面から光学的手法により、上記集積回路の評価解析を行うようにした。

【0037】この場合、前記所定個所は、例えば、前記集積回路内の座標データに基づいて指定される。あるいは、前記半導体基板の表面又は裏面へのレーザーマーキングで指定するようにしても良い。

【0038】このような状況の下、前記半導体基板裏面の所定個所の加工後、半導体基板を透過可能な光を利用した顕微鏡により、半導体基板を通して前記半球の中心近傍の半導体基板表面を観察する。

【0039】また、前記半導体基板裏面の所定個所の加工後に、前記集積回路に対して電気的入力を入力し、前記半球の中心近傍の半導体基板表面で発生する発光を半導体基板を通して検出する。

【0040】あるいは、前記半導体裏面の所定個所の加

工後に、前記集積回路に対して電気的入力を入力し、前記半導体基板を通して前記半球の中心近傍の半導体基板表面に対し、半導体基板を透過可能なレーザー光を照射して電気的特性の変化を検出する。

【0041】また、本発明では、半導体基板を研削することにより半導体装置を加工する半導体装置の加工装置において、断面が半円又は半円の一部の形状を成す溝が形成された研削ツールと、その研削ツールを回転させることにより上記半導体基板を研削して半導体基板裏面の所定個所に凸状の半球又は凸状半球の一部を形成する研削装置と、半導体基板裏面の所定個所を上記研削装置の回転軸上にアライメントするアライメント機構とを有する。

【0042】顕微鏡により半導体基板表面を観察した上でアライメントする前記アライメント機構においては、半導体基板表面に予め形成されているパターンを基準として、所定個所を前記顕微鏡の視野中心に移動させる。

【0043】ここで、顕微鏡が可視光顕微鏡の場合、半導体基板に対して、前記研削ツールと反対側に前記顕微鏡を配置し、その視野中心を予め研削装置の回転軸に合わせておくことが好ましい。

【0044】一方、前記顕微鏡が半導体基板を透過する赤外光を利用した赤外線顕微鏡の場合、半導体基板裏面から、前記半導体基板表面に形成されているパターンを観察して、所定個所を顕微鏡の視野中心に移動させるようにする。

【0045】また、半導体基板裏面に、所定位置を中心とする円形の溝を形成し、この溝段差を前記研削ツールのガイドとして利用することにより、アライメントしてもよい。

【0046】このとき、円形溝の半径は、研削ツールの回転によって形成される円形溝とほぼ同じになるように形成しておく。

【0047】円形溝を所定位置に形成する手法としては、半導体基板表面に予め形成されているパターンを基準として、両面目合せ露光機を用いたフォトリソグラフィに依るか、或いは、円形溝が形成された透明の板を、上記顕微鏡によるアライメント機構を用いて貼り合わせてもよい。

【0048】

【作用】本発明では、半導体装置を構成する半導体基板の所望個所を、凸状半球面に加工し、これを固体浸レンズとして利用することにより、半導体基板裏面から光学的手法により、半導体基板表面に形成された集積回路や半導体素子の評価解析を行う。

【0049】ここで、固体浸レンズを形成する個所は、予め、従来の解析手法で特定の領域の絞り込んでおく。

【0050】また、研磨面に半円形の断面形状を有する溝が形成された研磨ツールにより、半導体基板裏面の所望の領域を凸状の半球面に加工する。

【0051】即ち、研磨ツールの研磨面を半導体基板裏面の所望の領域に押し当て、溝の中心を通る、半導体研磨面に垂直な法線を軸に研磨ツールを回転させることで、凸状半球面の加工ができる。

【0052】このとき従来の解析手法で絞り込んだ特定領域が、研磨ツールの回転軸上に来るように、半導体装置をアライメントしておく。アライメントは、半導体基板表面に形成されているパターンを基準として、所望の箇所を顕微鏡の視野中心に移動させることにより行うが、半導体基板裏面に、所望位置を中心とする円形溝を形成して、この溝段差を前記研削ツールのガイドとして利用することにより、アライメントしてもよい。

【0053】顕微鏡を利用するアライメント手法において、顕微鏡が通常の可視光顕微鏡の場合、半導体基板に対し、研磨ツールと反対側に顕微鏡を配置し、その視野中心を、予め研磨ツールの回転軸に合わせておく。顕微鏡が半導体を透過する赤外光を利用した赤外線顕微鏡の場合、半導体基板裏面から、半導体基板表面に形成されているパターンを観察して、所望の箇所を顕微鏡の視野中心に移動させる。

【0054】但し、この場合、半導体基板に対し、研磨ツールと同じ側に顕微鏡が配置されるため、所望の箇所を顕微鏡の視野中心に合わせた後、半導体装置を相対的に、一定の方向に、一定の距離だけ移動させて、所望の箇所が、研磨ツールの回転軸上に来るようにする。

【0055】円形溝のガイドを利用するアライメント手法においては、円形溝の半径を、研削ツールの回転によって形成される円形溝とほぼ同じになるように形成するので、この円形溝内に研削ツールを落とし込むことで、半導体基板位置が自動的にアライメントされる。

【0056】このようなガイドを利用したアライメントは、機械的振動を伴わない高精度な手法で行うことも可能であるため、凸状半球加工の初期段階で、研削ツールの回転に伴う振動により、凸状半球形成位置がずれるのを抑えることができる。

【0057】このように、本発明では、半導体基板自身を固体浸レンズとして利用することで、高屈折率の半導体中で短波長化した光を利用した高分解能解析が可能になる。

【0058】さらに、半導体基板と固体浸レンズが一体化しているため、隙間に起因した分解能低下が発生しない。

【0059】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0060】（第1の実施の形態）図1を参照すると、本発明の第1の実施の形態は、半導体基板1の表面1aに集積回路（図示せず）が形成された半導体装置であって、その半導体基板裏面1bの一部が、凸状の半球面又は凸状半球面の一部を成すように半導体半球1cが形成

されていることを特徴としている。

【0061】図1において、半導体半球1cの中心は、半導体基板表面1aにほぼ一致している。

【0062】次に、本発明の実施の形態の動作について説明する。

【0063】赤外線のような半導体基板1を透過可能な光を利用して、対物レンズ2により、半導体半球1cを通して、半導体基板表面1aに焦点を合わせる。

【0064】その後、半導体基板表面1aに形成されている集積回路パターンの観察（赤外線顕微鏡観察）、集積回路への電気的入力に伴う半導体基板表面1aで発生する発光現象の検出（EMS法）、集積回路へのレーザー照射に伴う電気的変化の検出（OBIC法）等を行って、集積回路の評価、解析を行う。

【0065】半導体半球1cの中心は、半導体基板表面1aにほぼ一致しているので、赤外光は半導体半球1cの表面で屈折することなく、対物レンズ2の大気中の焦点位置と同じ位置で、半導体半球1cの中心付近に焦点を合わせることが出来る。

【0066】即ち、半導体半球1cは、高屈折率の半導体による半球型の固体浸レンズを構成することになるので、開口数が大気中と同等のまま、半導体中での短波長化効果を利用出来るようになり、高分解能が得られる。例えば、半導体が屈折率3.5のシリコンの場合、波長が $1/3.5$ 倍になるので、3.5倍の高分解能化が図られる。

【0067】また、半導体半球1cの表面で屈折しないことから、大気中で1点に焦点を結ぶように設計された通常の対物レンズを用いても、収差が増加しないので、焦点ボケによる分解能低下はない。

【0068】更に、固体浸レンズ（半導体半球1c）と半導体基板が一体化していることで、界面に隙間が発生することもないので、固体浸レンズ（半導体半球1c）と半導体基板の隙間に起因する分解能低下も発生しない。従って、固体浸レンズ（半導体半球1c）による高分解能が確実に得られるという利点を得られる。

【0069】（第2の実施の形態）次に、図2を参照して、本発明の第2の実施の形態について説明する。

【0070】図2に示す第2の実施の形態も、図1と同様、半導体基板1の表面1aに集積回路（図示せず）が形成された半導体装置において、その半導体基板裏面1bの一部が、凸状の半球面、又は凸状半球面の一部を成すように、半導体半球1cが形成されていることを特徴としている。

【0071】但し、図2において、半導体半球1cの半径をR、半導体基板1の屈折率をnとしたとき、半導体半球1cの中心は、半導体基板表面1aに対し $R/n$ だけ深い位置に一致するようにしている。

【0072】このような構造において、赤外光は半導体半球1cの表面で屈折することになるが、その焦点位置

は、大気中の焦点位置よりも浅くなり、図1の構造よりも大きい開口数で半導体基板表面1aに焦点を結ぶことになる。

【0073】即ち、半導体半球1cは、超半球型（又はワイエルストラス球型）と呼ばれる固体浸レンズを構成することになるので、半導体中での短波長化効果に加え、開口数が増加することにより、更に高分解能が得られることになる。

【0074】例えば、半導体が屈折率3.5のシリコンの場合、波長が $1/3.5$ 倍になるのに加え、開口数が最大で3.5倍になるので、最大約12.3倍の高分解能化が図られる。

【0075】また、半導体半球1c表面での屈折を伴うことから、大気中で1点に焦点を結ぶように設計された通常の対物レンズを用いた場合、収差が増加する可能性があるが、この収差に起因する分解能低下よりも、開口数の増加による分解能向上が大きい為、高分解能化は可能である。

【0076】次に、図3（a）及び図3（b）を用いて、半導体基板裏面に半導体半球を形成する方法を説明する。

【0077】まず、断面が半円形の溝3aが形成されている研削ツール3を、半導体基板裏面1bに押し当て、溝3aの中心を通る法線を軸として回転させながら、ダイヤモンドスラリーやダイヤモンドペースト等の研磨剤（図示せず）により半導体基板を研削する（図3（a））。

【0078】この結果、回転軸を中心として、半円形の溝3aに沿った凸状の半導体半球1cが形成される（図3（b））。

【0079】半導体半球1cを、図1に示すような半球型固体浸レンズとするか、図2に示すような超半球型固体浸レンズとするかに応じて、研磨ツール3の溝3aの寸法形状を選定し、削り込む深さを調整する。

【0080】半導体半球1cを半球型固体浸レンズとして利用する場合、解析装置の対物レンズ2の開口数に応じて、半球の頂点から必要な深さまでが球面になっていれば十分である。即ち、対物レンズの開口数に相当する立体角の外側は、結像に寄与しない為、必ずしも球面にする必要はない。

【0081】従って、研磨ツール3の溝3aは完全な半円よりも浅く形成しておくことで、半球の上部のみを形成すればよいので、半導体半球1cの周辺の基板厚を、半導体基板表面に形成されている集積回路を損なわない程度に十分厚く残すことが出来る。

【0082】尚、半球の半径Rは、半導体基板1の初期の厚さより大きくすることは出来ない。

【0083】半導体半球1cを超半球型固体浸レンズとして利用する場合は、完全な半球であることが好ましい。解析装置の対物レンズの開口数が、 $\sin \{ \tan$

$-1 (1/n)$  } 以下の場合は、半球全体が結像に寄与することはないが、多くの場合、この条件には該当しない。

【0084】例えば、屈折率 $n=3.5$ のシリコンの場合、 $\sin \{ \tan^{-1} (1/n) \} \approx 0.275$ となるが、高分解能を必要とする高倍率で、このように小さい開口数の対物レンズは使用されない。

【0085】超半球型固体浸レンズの場合、半導体半球1cの中心が観察対象となる半導体基板表面より $R/n$  ( $R$ は半球の半径)だけ深い位置に来る為、完全な半球を形成しても、半導体半球1cの周辺に、 $R/n$ の基板厚を残すことが出来る。

【0086】但し、 $R$ は、半導体基板1の厚さの $1/(1+1/n)$ 倍(シリコンの場合、約0.78倍)より大きくすることが出来ないで、例えば、シリコン基板の場合で、 $R/n$ は基板厚の0.22倍以下になる。

【0087】従って、薄い半導体基板を加工する際、研削によるダメージで、半導体基板表面に形成されている集積回路を損なう危険性がある場合には、多少分解能を犠牲にしても、完全な半球よりも浅くして、半導体半球1cの周辺の基板厚を十分厚く残すようにした方がよい。

【0088】半導体半球1cの表面は、順次細かい砥粒の研磨剤を用いて鏡面に仕上げ、必要に応じて、反射防止膜(図示せず)をコーティングする。

【0089】このようにして形成した半導体半球1cは、半導体基板1内に作り込まれているので、通常の固体浸レンズのように、視野を移動することが出来ない。しかしながら、高分解能が必要な高倍率の解析の場合、低倍率から順次絞り込んでいくことで、予め解析が必要な位置が特定されている。

【0090】即ち、半導体半球1cは、従来の解析手法等で絞り込まれた、所望の位置に対して、形成することになる。半導体半球1cを作成すべき位置は、チップ内の座標データ、或いは、半導体チップ表面、又は裏面へのレーザーマーキングで指定することが出来る。

【0091】次に、図4～図8を参照して、指定された面内位置の半導体基板裏面側に、半導体半球を作成するための加工装置と加工手法について説明する。

【0092】図4において、半導体基板1は表面側を下に向けて、ガラス等の可視光が透過可能な透明プレート上に、同じく透明なワックス等で固定されている。透明プレート4は、ステージ5の開口部を覆う形でステージ5の上に固定されており、倒立顕微鏡6は、ステージ5の開口部下方から透明プレートを通じて、半導体基板1の表面を観察できるように設置されている。

【0093】半導体基板1の裏面側上方に設置された研削ツール3の回転軸は、倒立顕微鏡の視野中心の光軸と一致するように調整されている。高分解能の裏面解析が必要な位置を半導体基板1の表面に形成された集積回路

のレイアウトパターンで確認し、ステージ5を操作して、その位置を顕微鏡視野の中心に移動させる。

【0094】その後、研削ツール3を半導体基板1の裏面に下ろして、研削することにより、所望位置に半導体半球を作成することができる。高分解能の裏面解析が必要な位置情報が、チップ内の座標データで指定された場合、集積回路のレイアウトデータを基に、表面から見えるレイアウトパターンを確認する。

【0095】所望位置又はその近傍に、集積回路の電気的特性を損なうことなく、レーザー等でマーキングすることが可能なスペースがある場合は、マーキング箇所を基に所望位置を視野中心に移動させることも出来る。

【0096】図5において、半導体基板1は表面側を下に向けて、ステージ5の上にワックス等で固定されている。ステージ5を搭載したベースステージ5aは、左右に一定の距離でスライドさせることが可能になっている。

【0097】ここで、スライド距離は、半導体基板1の裏面側上方に設置された研削ツール3の回転軸と、顕微鏡7の視野中心の光軸が、ステージ5上の同じ位置に来るように調整されている。

【0098】顕微鏡7は、光学系の切り替えによって、可視光観察と赤外光観察が可能になっており、赤外光観察の場合、直接肉眼で観察出来ない為、赤外線カメラ8を介してディスプレイ(図示せず)上で観察する。

【0099】顕微鏡7の下で、高分解能の裏面解析が必要な位置を半導体基板1の裏面から赤外光観察により確認し、ステージ5を操作して、その位置を顕微鏡視野の中心に移動させる。その後、ベースステージ5aをスライドさせて、ステージ5を研削ツール3の下に移動させ、研削ツール3を半導体基板1の裏面に下ろして、研削することにより、所望位置に半導体半球を作成することができる。

【0100】高分解能の裏面解析が必要な位置情報が、チップ内の座標データで指定された場合、集積回路のレイアウトデータを基に、裏面から見えるレイアウトパターンを確認する。

【0101】所望位置が、半導体基板裏面へのレーザーマーキング等で指定されている場合には、可視光観察でマーキング箇所を確認して、所望位置を視野中心に移動させることができる。

【0102】尚、この加工装置によれば、研削途中での赤外光観察も可能になる為、研削ツール3により削り込む深さを調整する段階で、半球の状態を実際のレイアウトパターンの光学像で確認しながら研磨を進めることが容易になる。

【0103】図4及び図5の加工装置においては、アライメント機構と顕微鏡が一体となって具備されていたが、図6～図8の手法によれば、必ずしも、加工装置に顕微鏡を一体化させる必要はない。



【0104】図6(a)において、半導体基板1の裏面の所望位置には、円形溝を形成する為のレジストマスク24が形成されている。レジストマスク24の円形パターンの中心は、凸状半導体半球1cを形成したい中心位置、即ち、高分解能の解析を必要とする位置に一致させて形成する。

【0105】このとき、両面目合せ露光機を利用すれば、半導体基板表面に形成されているパターンを基準として、高精度にアライメントすることができる。このレジストマスク24を利用し、半導体基板裏面をエッチングすることにより、円形溝1dを形成することができる(図6(b))。

【0106】このとき、エッチングによる寸法差や寸法再現性を考慮して、形成される円形溝1dの半径が、研削ツール3の回転により形成される円形溝の半径とほぼ一致して、少なくとも小さくならず、やや大きめになるよう、予め、レジストマスク24の円形パターン寸法を設計しておく。

【0107】このような円形溝1dを形成しておけば、この溝内に研削ツール3を落とし込むことで、研削ツール3の回転軸に対し、半導体基板1の所望位置を自動的にアライメントすることができる(図6(c))。

【0108】この手法では、円形溝1dの段差が研削ツール3のガイドとして機能するので、研削ツール3の回転に伴う振動に起因した位置ズレが抑えられ、高精度にアライメントされたレジストマスク24に対し、正確に凸状半導体半球1cを形成することができる(図6(d))。

【0109】このとき、研削ツール3の底面は、図3(a)のような方形よりも、図6(c)のような円形の方が、ガイドとの接触面積が広がるので、研削ツール3のブレを抑える効果が高くなる。また、円形溝1dを等方性エッチングにより形成すれば、溝の段差部に傾斜が付くので、円形溝半径の設計によっては、研削ツール3の中心を中央に誘導するように機能させることもできる。

【0110】図7(a)～図7(d)は、同様の円形溝ガイドを、可視光に対して透明なガラス板に形成し、半導体基板裏面にガイドをアライメントした上で、貼り合わせて固定する手法を示している。

【0111】まず、凸状半球加工用の研削ツール3を用いて、ガラス板25を研削することにより、ガラス板25に円形溝25aを形成する(図7(a))。

【0112】この円形溝25aの中心を、半導体基板1裏面の凸状半導体半球1cを形成したい中心位置に一致させて、ガラス板25と半導体基板1を貼り合わせる(図7(b))。

【0113】このときのアライメントは、図4及び図5の加工装置と同様な顕微鏡によっても可能である。但し、予め、半導体基板1裏面の所望位置にレーザー等で

マーキングしておけば、可視光顕微鏡下で、ガラス板25を通して、マーキング位置が確認できるので、容易にアライメントすることができる。

【0114】貼り合わせに、可視光に対して透明な熱硬化性接着剤を用い、アライメント後、そのまま加熱して固定すれば、機械的振動による位置ズレを抑えられる。

【0115】尚、円形溝25aは、ガラス板25を完全に打ち抜いて形成してもよいが、途中で止めることで、図7(b)のように、円形溝25aの中心に溝半径より小さい径の円形凸部を残すことができ、顕微鏡視野内での円形溝25aの中心位置確認が容易になる。貼合せ後、この円形溝25a内に研削ツール3を落とし込むことで、半導体基板1をアライメントすることができる(図7(c))。

【0116】その後、ガラス板ごと、半導体基板1裏面を研削することで、所望位置に凸状半導体半球1cを形成することができる(図7(d))。この手法では、ガイド(円形溝25a)の形成と凸状半導体半球1cの形成に、同じ研削ツールが使用できるので、改めてガイドの寸法を設計しなくても、常に適当な寸法でガイドを形成することができる。

【0117】図8は、加工装置に固定して使用するガイドに対し、半導体基板をアライメントする手法を示している。

【0118】半導体基板1は、サブステージ28上にブロック29と固定ネジ26aで固定されており、サブステージ28は、ステージ27上に固定ネジ26bで固定されている。

【0119】また、ステージ27には、ガイド30が固定されており、固定ネジ26aと固定ネジ26bを操作することにより、ガイド30に対する半導体基板1の水平位置を調整することができる。

【0120】このときのアライメントは、図4及び図5の加工装置と同様な顕微鏡によっても可能であるが、予め、半導体基板1裏面の所望位置にレーザー等でマーキングしておけば、可視光顕微鏡下で、マーキング位置を確認しながら、ガイド30の中心へアライメントすることができる。

【0121】ガイド30の半径は、研削ツールの半径とほぼ一致して、少なくとも小さくならず、やや大きめになるよう設計しておく。このような構成の下、加工装置上において、研削ツールをガイド30内に落とし込む位置に、ステージ27を固定することで、研削ツールの回転軸に、半導体チップ1の所望位置をアライメントすることができる。

【0122】図7～図8の加工手法も、図6の加工手法と同様に、研削ツールをガイドによって半導体基板上の所望位置に誘導しているので、ガイドを利用しない図3の加工手法に比べ、研削ツールの回転に伴う初期の振動に起因した位置ズレが抑えられ、高精度にアライメント

された凸状半導体半球を形成することができる。

【0123】半導体半球を形成した後、高分解能の裏面解析を行う場合、半導体基板表面に形成された集積回路に対し、電気的入力を行う必要がある。

【0124】図9に示す裏面解析手法の例では、半導体チップ9をアイランド11にマウントした上で、ボンディングを行って、集積回路の入出力端子とリード端子14を接続し、更にモールド樹脂10で半導体チップ9とボンディングワイヤ13を固定する。

【0125】こうして集積回路の入出力端子をパッケージ周辺のリード端子14に引き出すことで、リード端子14を介して電気的入力が可能になる。その後、チップ裏面のモールド樹脂10とアイランド11を除去して、チップ裏面を露出させることにより、半導体チップ9の裏面からの解析が可能になる。

【0126】この状態で、EMS法やOBIC法等による通常の裏面解析を行って、異常箇所を絞り込んだ後、所望の箇所に半導体半球9aを形成する。この例の場合、半導体チップ9の表面はモールド樹脂で覆われ、表面から所望の位置を確認することが出来ない為、図4の加工装置は使えないが、図5の加工装置により、所望の位置に半導体半球9aを形成することが可能となる。

【0127】次に、図10に、集積回路への電気的入力をプロービングで行うチップ又はウェハ状態での裏面解析手法の例を示す。

【0128】解析用の光学系が上方に配置された裏面解析装置において、ウェハステージ16に設けられた裏面解析用の開口部に、被解析チップの裏面が来るように半導体ウェハ15を下方から真空吸着で固定させる。

【0129】その後、下方に設けられた観察用対物レンズ20を介してCCDカメラ等でウェハ表面を確認しながら、プラテン17の裏側に固定されたマニピュレータ18を操作して、プロービングを行う。

【0130】このような手順で、プローブ19を介して半導体チップ内の集積回路に電気的入力を行った上で、ウェハステージ16の開口部から裏面解析を行う。

【0131】この場合も、予め通常の裏面解析を行って、異常箇所を絞り込んだ後、所望の箇所に半導体半球15aを形成することになる。

【0132】しかし、この場合は、被解析チップの表面からレイアウトパターンを確認することが出来るので、図4、図5の何れの加工装置を用いても、所望の位置に半導体半球15aを形成することが可能となる。

【0133】

【発明の効果】本発明によれば、次の第1から第3の効果を達成できる。

【0134】第1の効果は、半導体基板中での光の短波長化効果を利用した、高分解能な裏面解析が可能になることである。

【0135】その理由は、半導体基板裏面の所望の箇所

を凸状半球に加工して、固体浸レンズを構成するようにしたことにより、大気中の焦点位置より深い位置に焦点が結ばれることがないようにした為、実効的な開口数の低下による分解能低下が発生しなくなったためである。

【0136】第2の効果は、大気中で1点に焦点を結ぶように設計された通常の対物レンズでも、高分解能な裏面解析が可能になり、対物レンズを表面解析と共用化することが可能なることである。

【0137】その理由は、半導体基板裏面の所望の箇所を凸状半球に加工して、半球型の固体浸レンズを構成することにより、大気中と同じ焦点位置に焦点を結ぶことが可能になり、半導体基板に起因する収差を補正することなく、通常の対物レンズで、半導体中の短波長化を利用した高分解能化が可能になったためである。

【0138】尚、凸状半球で超半球型の固体浸レンズを構成した場合でも、半球表面での屈折に伴う収差に起因した分解能低下よりも、開口数の増加による分解能向上が大きい為、高分解能化の効果は得られる。

【0139】第3の効果は、半導体基板と同じ材質の平凸レンズを利用して、固体浸レンズを構成する場合に比べて、固体浸レンズ本来の分解能が容易、且つ安定して得られることである。

【0140】その理由は、固体浸レンズを半導体基板内に作り込むことで、固体浸レンズと半導体基板が一体化し、両者の隙間に起因する分解能の低下が発生しないためである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に応じて半球型の固体浸レンズを構成した場合の結像光学系を示す縦断面図である。

【図2】本発明の第2の実施の形態に応じて、超半球型の固体浸レンズを構成した場合の結像光学系を示す縦断面図である。

【図3】本発明の半導体半球の第一の形成方法を示す斜視図である。

【図4】本発明の半導体半球加工装置の第一の形態を示す側面図である。

【図5】本発明の半導体半球加工装置の第二の形態を示す正面図である。

【図6】本発明の半導体半球の第二の形成方法を示す斜視図である。

【図7】本発明の半導体半球の第三の形成方法を示す斜視図である。

【図8】本発明の半導体半球の第四の形成方法を示す斜視図である。

【図9】本発明による裏面解析手法の第一の実施例を示す縦断面図である。

【図10】本発明による裏面解析手法の第二の実施例を示す縦断面図である。

【図11】従来の結像光学系を示す縦断面図である。

【図12】従来技術により半球型の固体浸レンズを構成した場合の結像光学系を示す縦断面図である。

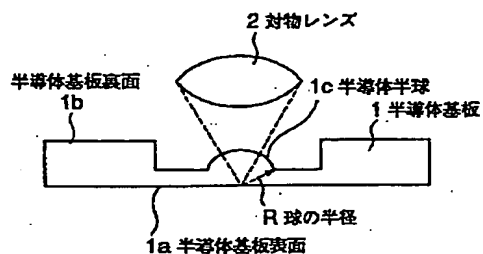
【図13】従来の半球型の固体浸レンズの結像光学系を示す縦断面図である。

【符号の説明】

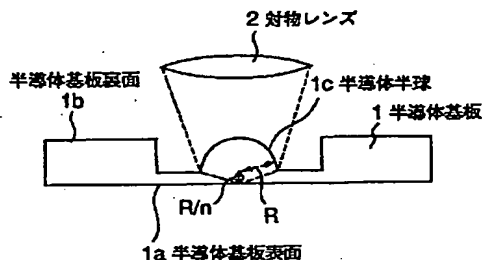
- 1 半導体基板
- 1a 半導体基板表面
- 1b 半導体基板裏面
- 1c 半導体半球
- 1d 円形溝
- 2 対物レンズ
- 2a 解析用対物レンズ
- 3 研削ツール
- 3a 半円形の溝
- 4 透明プレート
- 5 ステージ
- 5a ベースステージ
- 6 倒立顕微鏡
- 7 顕微鏡
- 8 赤外線カメラ
- 9 半導体チップ
- 9a 半導体半球
- 10 モールド樹脂

- 11 アイランド
- 12 裏面開口部
- 13 ボンディングワイヤ
- 14 リード
- 15 半導体ウェハ
- 15a 半導体半球
- 16 ウェハステージ
- 17 プラテン
- 18 マニピュレータ
- 19 プロブ
- 20 観察用対物レンズ
- 21 平凸レンズ
- 22 固体浸レンズ
- 23 試料
- 24 レジスト
- 25 ガラス板
- 25a ガラス板円形溝
- 26a, 26b 固定ネジ
- 27 ステージ
- 28 サブステージ
- 29 ブロック
- 30 ガイド

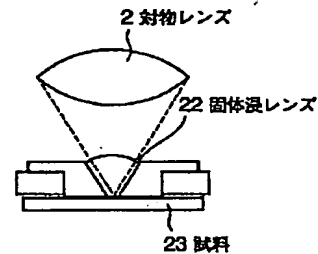
【図1】



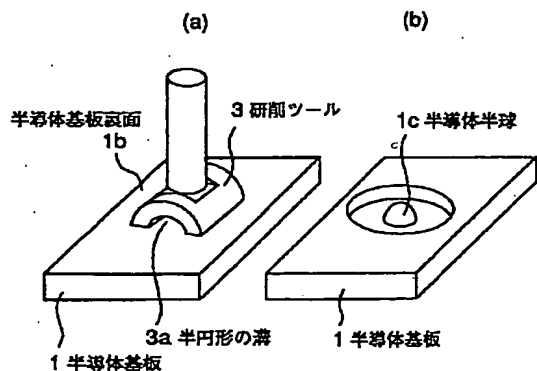
【図2】



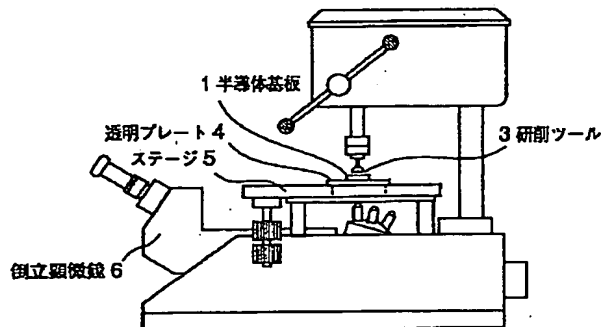
【図13】



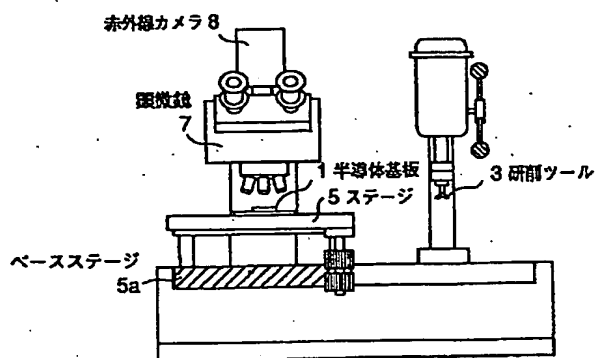
【図3】



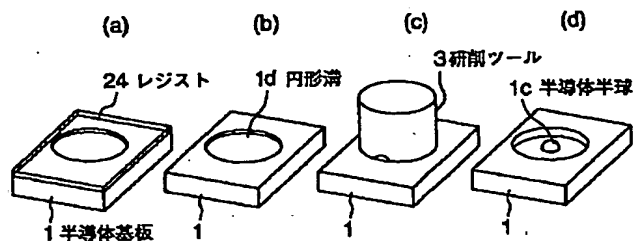
【図4】



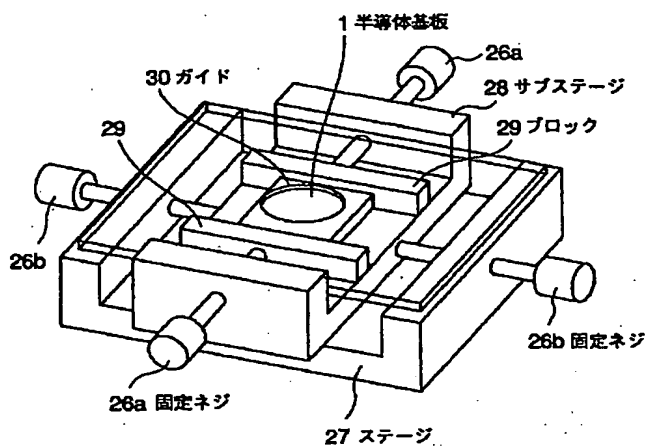
【図5】



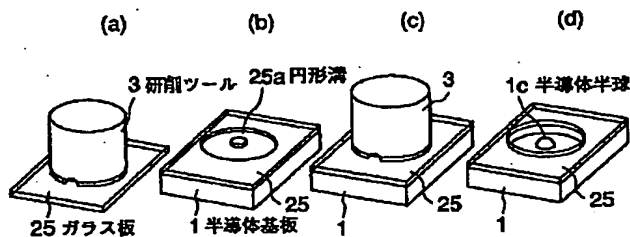
【図6】



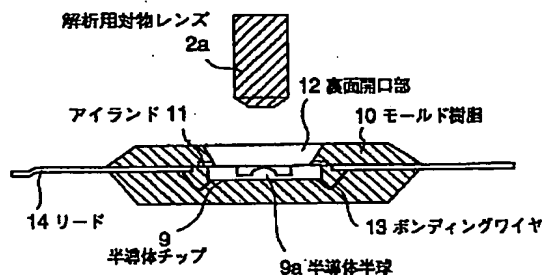
【図8】



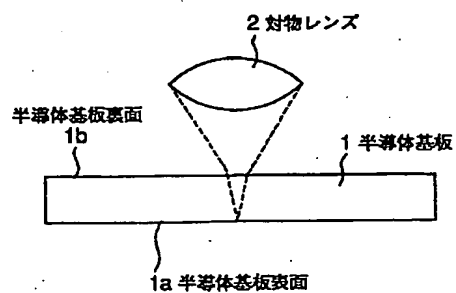
【図7】



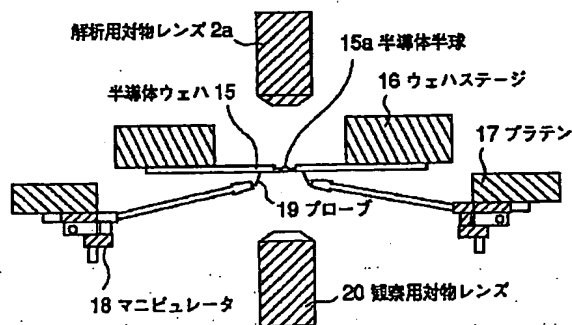
【図9】



【図11】



【図10】



【図12】

